

## PROJECTION ALIGNER

**Publication number:** JP9232213

**Publication date:** 1997-09-05

**Inventor:** KOBAYASHI NAOYUKI

**Applicant:** NIPPON KOGAKU KK

**Classification:**

**- International:** G03F7/20; H01L21/027; G03F7/20; H01L21/02; (IPC1-7): H01L21/027; G03F7/20

**- European:**

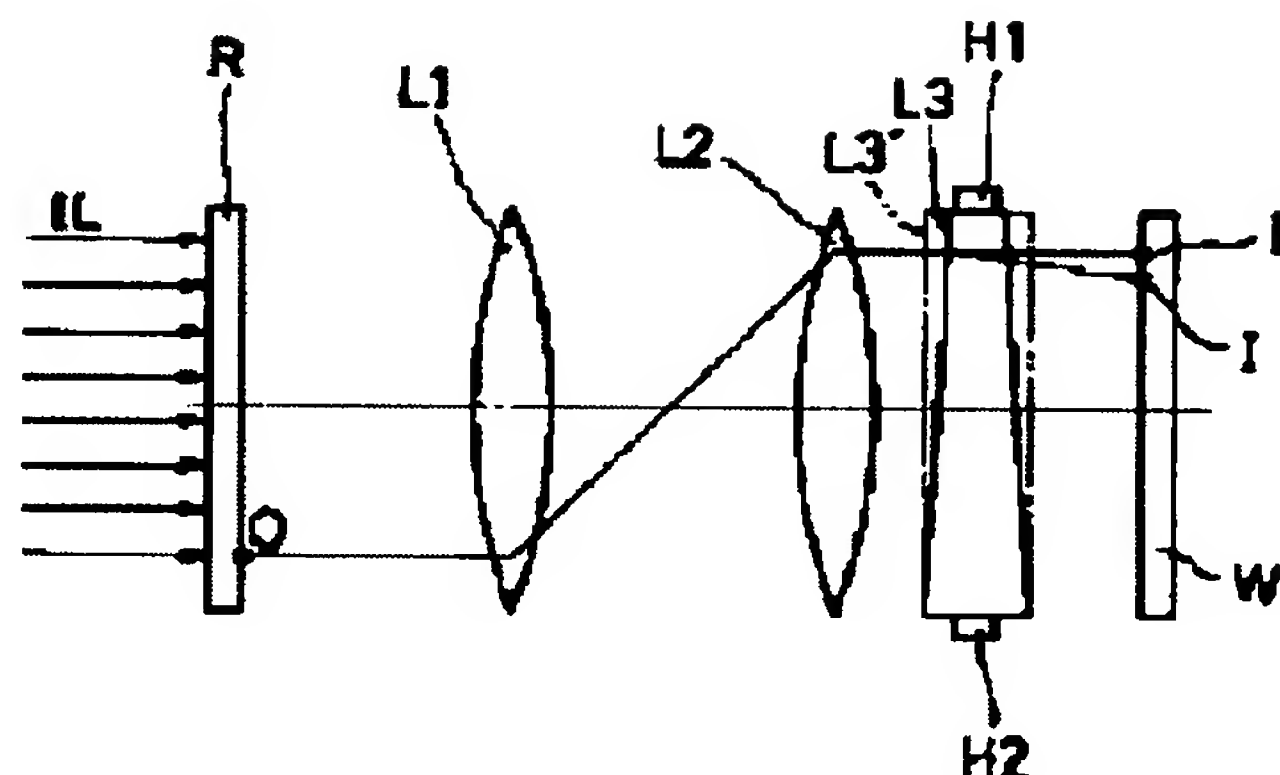
**Application number:** JP19960038017 19960226

**Priority number(s):** JP19960038017 19960226

Report a data error here

### Abstract of JP9232213

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a projection aligner which omits a machine component for adjustment, whose structure is simplified and whose costs are reduced by a method wherein a temperature-variable means is controlled on the basis of a measured temperature distribution, a prescribed temperature distribution is given to an optical element and the aberration of a projection optical system is corrected. **SOLUTION:** Heaters H1 and H2 are attached to the outer circumference of an optical lens L3. When the respective heaters H1, H2 are not electrified, the temperature distribution of the optical lens L3 is measured by a temperature sensor, its temperature is made uniform, and an image point on a wafer W with reference to the object point O of a pattern on a reticle R is set at I. In addition, a lattice-shaped pattern P is image-formed on the wafer W so as to be distorted by a projection optical system which is composed of a group of optical lenses L1 to L3, the heater H1 is electrified on the basis of the temperature distribution measured by the temperature sensor so as to generate heat, the heated part of the optical lens L3 is expanded so as to become a shape L3', an image point with reference to the object point O is set at I', and a distortion is corrected. Consequently, a machine component for adjustment can be omitted.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) Japan Patent Office (JP)  
(12) Publication of Patent Application (A)  
(11) Publication Number of Patent Application: 9-232213  
(43) Date of Publication of Application: September 5, 1997  
(51) Int. Cl.6: Domestic Classification Symbol  
H01L 21/027  
G03F 7/20 521  
Intraoffice Reference Number:  
FI:  
H01L 21/30 516 E  
G03F 7/20 521  
H01L 21/30 516 A  
Technology Indication Field:  
Request for Examination: Not made  
Number of Claims: 5 OL (7 pages in total)  
(21) Application Number: Patent Application 8-38017  
(22) Application Date: February 26, 1996  
(71) Applicant: 000004112  
Nikon Corporation  
2-3, Marunouchi 3-chome, Chiyoda-ku, Tokyo  
(72) Inventors: Naoyuki Kobayashi  
c/o Nikon Corporation  
2-3, Marunouchi 3-chome, Chiyoda-ku, Tokyo  
(74) Agent: Patent Attorney, Yusuke Hiraki  
(and other 1 person)

(54) [Title of the Invention]

PROJECTION ALIGNER

(57) [Abstract]

[Object] To allow for correction of distortion of a projection optical system by a relatively simple arrangement.

[Means for Resolution] An optical element L3, constituting a projection optical system PL for projecting a pattern formed on a reticle R onto a wafer W, is provided with temperature changing means, such as heaters H1 and H2. The optical element L3 is allowed to have a predetermined temperature distribution, resulting in physical deformation (L3'). Thus, the optical characteristics of the projection optical system PL are modified to correct distortion.

[Claims]

[Claim 1]

A projection aligner including an illumination system that illuminates a reticle, a substrate stage that holds a photosensitive substrate, and a projection optical system that forms an image of a pattern on the reticle on the photosensitive substrate, comprising: temperature changing means for changing the temperature of an optical element constituting the projection optical system; temperature measuring means for measuring the temperature distribution of the optical element; and temperature distribution control means for controlling the temperature changing means on the basis of the temperature distribution measured by the temperature measuring means so that the optical element has a predetermined temperature distribution to correct distortion of the projection optical system.

[Claim 2]

The projection aligner according to claim 1, wherein the temperature changing means includes a plurality of heat pumps arranged on the periphery of one or each of a plurality of optical elements constituting the projection optical system.

[Claim 3]

The projection aligner according to claim 1 or 2, wherein the temperature changing means includes infrared irradiation means for irradiating the optical element with infrared rays having a desired pattern and the temperature measuring means includes a radiation thermometer.

[Claim 4]

The projection aligner according to claim 1, further comprising: memory means for storing the temperature distribution of the optical element in association with the optical characteristics of the projection optical system.

[Claim 5]

The projection aligner according to claim 1, further comprising: simulation means for simulating the imaging characteristics of the projection optical system as a result of control over the temperature changing means by the temperature distribution control means, wherein the temperature distribution control means controls the temperature changing means on the basis of simulation by the simulation means.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Technical Field to which the Invention Belongs]

The present invention relates to a projection aligner used for making a semiconductor device, a liquid crystal display, or the like.

[0002]

[Prior Art]

In a photolithography process of making a semiconductor device, a liquid crystal display, a thin film magnetic head, or the like a projection aligner projects a pattern formed on a photomask or a reticle (hereinafter, the reticle) onto a photosensitive substrate, such as a wafer or a glass plate, applied with a sensitizer, e.g., a photoresist and exposes the substrate. In general pattern exposure, a step of superimposing a pattern on another pattern already formed on a photosensitive substrate and exposing the substrate is repeated multiple times. Since the overlay accuracy of patterns formed on the photosensitive substrate directly affects the performance of a device, serving as a completed product, a projection optical system of the projection aligner requires minimizing deformation (distortion) of an image. In addition to minimizing distortion which is caused in principle upon designing a projection lens, it is therefore necessary to minimize a manufacturing error and an assembly tolerance of an optical element caused during manufacture. Furthermore, since distortion of the projection optical system varies due to a change in environmental parameters, such as atmospheric pressure and temperature, and a change in the temperature of the optical element caused when the optical element absorbs exposure light during exposure, it is necessary to compensate for the variation.

[0003]

The following approaches to suppressing the error and tolerance caused during manufacture of the projection aligner have been performed: One approach is to reduce an error of an optical element to be used. For example, efforts have been made to make a refractive optical element (so-called optical lens) having characteristics close to ideal characteristics in optical design. An optical material having a high uniformity of refractive index is used and the material is worked with a very high precision so that the optical element has ideal characteristics in optical design. Another approach is to devise a mount so that the accurate positional relationship between the mount and a completed optical part is held without deforming the completed optical part, thus achieving the designed performance.

[0004]

However, manufacturing the projection optical system of the projection aligner requires very high performance. In some cases, the manufacturing accuracy required for individual parts may exceed the limit of processing accuracy obtained using current techniques. Accordingly, the necessary performance cannot be obtained by only the above-described methods. In fact, parts of a completely assembled projection optical system are repeatedly adjusted to achieve the necessary performance of the projection optical system through a trial and error process.

[0005]

As for the variation in distortion caused by a change in operating environment, according to one approach, the whole of the projection optical system is disposed in an environmental control system, alternatively, the projection optical system is covered with a temperature control jacket to protect the optical system from a change in external environment. According to another approach, the projection optical system is partially sealed so that the pressure in sealed part is controlled. According to another approach, a part of optical elements is moved to compensate for a variation in distortion caused by environmental changes.

[0006]

[Problems that the Invention is to Solve]

The above-described known projection aligner has the following problems: An error caused during manufacture is compensated for by adjusting the completely assembled projection optical system, serving as a completed product. It requires high accuracy for adjustment. In addition, not all of performances of the assembled product can be adjusted.

[0007]

Regarding correction of distortion of the projection optical system, some of the distances between optical elements constituting the projection optical system are adjusted, so that most of rotationally symmetric components of the distortion can be corrected. Some of non-rotationally symmetric components can be corrected by three-dimensionally moving the optical elements. However, it is difficult to correct all of components after completion of manufacture of the product in terms of accuracy and accessibility.

[0008]

When an optical glass member constituting the optical element has a refractive index distribution or a support is deformed,



distortion cannot be corrected unless the optical system is disassembled into parts and a relevant part is replaced. It is therefore difficult to estimate the number of parts to be assembled into the aligner. It is also difficult to arrange a schedule for making the aligner. Unfortunately, it results in an increase in cost of the aligner. Adjustment in the case where an environmental parameter, such as temperature, in the use of the aligner changes and that for change over time have similar problems. The present invention is made in consideration of the above-described problems and an object of the present invention is to provide a mechanism capable of correcting various components of distortion with a flexible and relatively simple structure to a projection optical system mounted on a projection aligner.

[0009]

[Means for Solving the Problems]

According to the present invention, an optical element constituting a projection optical system is systematically allowed to have a temperature distribution and the optical element is physically deformed, thus correcting distortion.

[0010]

In other words, according to the present invention, a projection aligner having an illumination system (IU) that illuminates a reticle, a substrate stage (ST) that holds a photosensitive substrate (W), and a projection optical system (PL) that forms an image of a pattern on the reticle (R) on the photosensitive substrate includes temperature changing means (H1, H2, HP1 to HP8, SC) for changing the temperature of an optical element (L1 to L6) constituting the projection optical system (PL), temperature measuring means (S1 to S8, IR) for measuring the temperature distribution of the optical element, and temperature distribution control means (TC) for controlling the temperature changing means on the basis of the temperature distribution measured by the temperature measuring means so that the optical element has a predetermined temperature distribution to correct distortion of the projection optical system.

[0011]

Any of the following types of temperature changing means is available. A type of temperature changing means is in contact with the optical element and allows the optical element to have a temperature distribution by heat conduction. Another type of temperature changing means applies heat to the optical element in a contactless manner.

Both of the types may be used in combination. As for the contact type temperature changing means, heating means, such as a plurality of heaters (H1, H2), or heating and cooling means, such as heat pumps (HP1 to HP8), may be used such that the means is arranged on the periphery of one or each of a plurality of optical elements constituting the projection optical system. As for the contactless type temperature changing means, infrared irradiation means (SC) for irradiating the optical element with infrared rays having a desired pattern may be used.

[0012]

As the temperature measuring means, a plurality of temperature sensors (S1 to S8), e.g., thermocouples may be used such that the sensors are arranged in the vicinity of the optical element. When a radiation thermometer (IR) including an infrared imaging device or the like is used as the temperature measuring means, the temperature distribution of central part of the optical element can be measured in a contactless manner. The thermocouples for measuring the temperature distributions of peripheral parts of the optical element and the radiation thermometer for measuring the temperature distribution of central part thereof may be used in combination as the temperature measuring means. The temperature distribution control means (TC) controls the temperature changing means so that the temperature distribution of the optical element measured by the temperature measuring means indicates a desired temperature distribution. Thus, high precise control can be achieved.

[0013]

Since the contact type temperature changing means, e.g., the heaters or heat pumps are arranged on the periphery of the optical element, the means can be attached to an optical element disposed in any position, e.g., an optical lens located in a central portion of a body tube (T). The use of the heat pumps or the like having a cooling capability in combination with the heaters or the like having a heating capability enables the optical element to have a large temperature gradient. However, an attachment position is limited to the periphery of the optical element in order to widen the effective area of the optical element. Accordingly, heat cannot be directly conducted to a central area of the optical element close to the optical axis thereof. Disadvantageously, a temperature distribution pattern which the optical element can have is restricted.

[0014]

On the other hand, the contactless type temperature changing means, such as an infrared beam scanner, can apply heat directly to an area in the vicinity of the optical axis of the optical element without reducing the effective area of the optical element. Advantageously, the flexibility of a temperature distribution pattern which the optical element can have is relatively high. However, optical elements capable of being irradiated with an infrared beam are generally limited to those disposed in upper and lower ends of the projection optical system. In addition, the optical elements can be heated but cannot be cooled. As described above, the contact and contactless types of temperature changing means have functions that complement each other. The combination of both the types allows for higher precision correction of distortion of the projection optical system than that in the use of any of the types.

[0015]

To correct distortion of the projection optical system, first, a known pattern, e.g., a lattice pattern is projected onto an image plane through the projection optical system, deformation of the imaged pattern is measured to obtain the distortion of the projection optical system. Subsequently, in order to correct the obtained distortion, it is determined which of the optical elements of the projection optical system is allowed to have what temperature distribution. After that, in order to realize the temperature distribution, variables controlled by the temperature distribution control means, e.g., currents to be supplied to the respective heaters are obtained and the control operation by the temperature distribution control means is performed. Since it is difficult to analytically obtain the controlled variables, the variables are derived by linear operation or simulation based on actual measurement data.

[0016]

The principle of correction of distortion of a projection optical system according to the present invention will now be described with reference to Figs. 1 and 2. Fig. 1 schematically shows a refractive type projection optical system including optical lenses L1, L2, and L3. An image of a pattern on a reticle R uniformly irradiated with illumination light IL is formed on a wafer W applied with a sensitizer, e.g., a photoresist through a group of the optical lenses L1 to L3. Heaters H1 and H2 are attached to the periphery of the optical lens L3 as shown in the diagram.

[0017]



When the heaters H1 and H2 are not energized, the temperature of the optical lens L3 is uniform. Reference symbol I denotes an image point on the wafer W corresponding to an object point O in the pattern on the reticle R at that time. It is assumed that a lattice pattern P as shown in Fig. 2(a) is formed on the reticle R. When this pattern P is projected onto the wafer W through the projection optical system including the optical lenses L1 to L3, the formed image of the pattern P is distorted as shown in Fig. 2(b). At that time, the heater H1 attached to an upper portion of the optical lens L3 is energized to generate heat, thus allowing the optical lens L3 to have a temperature distribution. Heated part of the optical lens L3 is expanded, so that the optical lens L3 has a shape L3' shown by a broken line. Consequently, the image formed on the wafer W is deviated and an image point I' corresponds to the object point O, thus forming a distortion-free image on the wafer W as shown in Fig. 2(c).

[0018]

Simultaneously energizing the heaters H1 and H2 enables peripheral part of the optical lens L3 to be thicker than central part thereof. In this case, the optical lens L3 functions as a concave lens and can magnify an image. Alternatively, a heat pump, such as a Peltier element, may be used instead of a heater. The peripheral part of the optical lens is cooled lower than the central part thereof, allowing the peripheral part to be thinner than the central part. In this case, the optical lens L3 functions as a convex lens.

[0019]

The principle has been described using a very simplified example. In actuality, the optical lens L3 has a complicated temperature distribution caused by energization of the heater H1, therefore, the amount of deviation of an image formed on a relevant portion is complicated. Accordingly, it is necessary to analyze a variation in distortion caused by the temperature differences among various parts of the optical lens L3 by thermal analysis using the finite element method, optical simulation, or the like and to make a close study of arrangement of sensors for temperature measurement and heating means and cooling means for providing a temperature distribution. In addition, it is important to prevent thermal disturbance to the optical lens.

[0020]

When the present invention is applied to a refractive optical element, it is necessary to select the physical property of a material

for the optical element in accordance with the amount of correction of distortion. Available optical materials for the optical element of the projection aligner are limited due to a reduction in wavelength of exposure light of recent years. Fluorite ( $\text{CaF}_2$ ) has a relatively high coefficient of linear expansion and also has high transmittance to ultraviolet rays emitted from a KrF or ArF excimer laser or the like. Accordingly, fluorite is a suitable material for use in the projection optical system according to the present invention.

[0021]

According to the present invention, the temperature of an optical element is changed without moving the optical element to physically deform the optical element, thus correcting distortion of the projection optical system, which has been adjusted by changing relative positions of the optical elements. Advantageously, mechanical parts for adjustment needed so far can be omitted, resulting in simplification of the structure and reduction in the cost. Furthermore, not only changing the temperature of the optical element but also allowing the optical element to have a temperature distribution enable the optical element to be partially deformed. Advantageously, distortion which cannot be corrected by the known methods, for example, non-rotationally symmetric components or relatively random components of distortion can be corrected.

[0022]

[Mode for Carrying Out the Invention]

Embodiments of the present invention will be described below with reference to the drawings. Fig. 3 is a schematic view illustrating a projection aligner according to a first embodiment of the present invention. The projection aligner includes an illumination optical system IU, a reticle stage RS that holds a reticle R, a projection optical system PL, and a wafer stage ST that is two-dimensionally movable while carrying a wafer W. The whole of the aligner is received in an environmental control chamber EC such that air-conditioning control is performed to provide constant temperature. In this embodiment, the projection optical system PL comprises a refractive optical system including six optical lenses L1 to L6. A body tube T holding the optical lenses L1 to L6 is covered with a temperature control jacket TJ so that higher precision temperature control is performed.

[0023]

Illumination light IL emitted from the illumination optical

system IU is uniformly applied to the reticle R on which a projection pattern is drawn. The illumination light IL is subjected to intensity modulation and diffraction by the pattern drawn on the reticle R, so that the light containing information about the pattern is incident on the projection optical system PL. The projection optical system PL forms the image of the pattern drawn on the reticle R onto the wafer W.

[0024]

Regarding the optical lens L1 that is the uppermost one of the optical lenses constituting the projection optical system PL, heat pumps HP1 to HP8, such as Peltier elements, and temperature sensors S1 to S8 are attached to the periphery of the optical lens L1 as shown in Fig. 4 such that the combinations each including one heat pump and one temperature sensor are symmetrically arranged. A temperature controller TC controls the temperatures of the respective heat pumps HP1 to HP8 on the basis of temperature measurements obtained by the temperature sensors S1 to S8. The heat pumps HP1 to HP8 are individually heated or cooled so that the corresponding portions on the periphery of the optical lens have different temperatures, alternatively, the temperatures of the corresponding portions are made different from a temperature set in the environmental control chamber EC or the temperature control jacket TJ, thus allowing the optical lens L1 to have a temperature distribution.

[0025]

Changing the temperatures of the respective portions of the periphery of the optical lens through the heat pumps HP1 to HP8 enables the optical lens L1 to function as a concave lens or a convex lens, but also to function as an aspherical lens that is more complex. For example, in the optical lens L1, the temperatures of the portions corresponding to the heat pumps HP1 and HP5 located in opposite positions with respect to the optical axis are raised. On the contrary, the temperatures of the portions corresponding to the heat pumps HP3 and HP7, which are located at opposite positions with respect to the optical axis such that the arrangement of the heat pumps HP3 and HP7 is orthogonal to that of the heat pumps HP1 and HP5, are lowered. Consequently, non-rotationally symmetric distortion can be corrected. Changing a combination of temperatures allows for correction of distortion having a more complex shape.

[0026]

A memory device M, such as a ROM or a magnetic disk, is provided

for the temperature controller TC. The memory device M stores data indicating the relationship between the temperature distribution of the optical lens L1 and a variation in distortion of the projection optical system PL. The data can be obtained by actual measurement or simulation. Data obtained by actual measurement can be collected as follows: The optical lens L1 constituting the projection optical system PL is allowed to have a given temperature distribution, an image of a lattice pattern as shown in Fig. 2(a) on the reticle R is projected onto the image plane of the optical lens L1 having the temperature distribution, and the amount of deviation of the projected pattern from a design position is measured. A given temperature distribution is sequentially varied. The above-described process is repeated as the temperature distribution is varied. Data obtained by simulation can be collected by analyzing variations in distortion obtained at various temperature distributions of each optical element by thermal analysis using the finite element method, optical simulation, or the like.

[0027]

Controlled variables of the respective heat pumps HP1 to HP8 by the temperature controller TC can be determined by projecting the lattice pattern shown in Fig. 2(a) to measure distortion of the projection optical system PL and obtaining a temperature distribution necessary for correction of the distortion from data stored in the memory device M using linear operation. The temperature controller TC controls the heat pumps HP1 to HP8 using the controlled variables determined as described above while monitoring outputs of the temperature sensors S1 to S8, so that the distortion of the projection optical system PL is corrected.

[0028]

Fig. 5 is a schematic diagram showing a projection aligner according to a second embodiment of the present invention. The aligner according to the second embodiment shown in Fig. 5 includes an infrared beam scanner SC and a radiation thermometer IR, such as a two-dimensional CCD infrared imager, in addition to the components of the aligner according to the first embodiment in Fig. 3. Further, the aligner according to the second embodiment includes a simulation device SM instead of the memory device. In Fig. 5, components having the same functions as those in Fig. 3 are designated by the same reference numerals and a detailed description of the previously described components is omitted.



[0029]

The infrared beam scanner SC scans a surface of an optical lens L1 exposed in the upper end of a projection optical system PL at high speed while changing the intensity of an infrared beam, thus applying a desired heating pattern onto the optical lens L1. In other words, the optical lens L1 is simultaneously subjected to temperature control by heat pumps HP1 to HP8 arranged on the periphery of the optical lens as shown in Fig. 4 and temperature control by irradiation with the infrared beam. Although it is impossible for the heat pumps to heat an area in the vicinity of the optical axis of the optical lens L1, the infrared beam scanner SC can apply heat to this area, resulting in higher precision temperature control than temperature control using only the heat pumps HP1 to HP8. Preferably, a wavelength of infrared rays scanned by the infrared beam scanner SC is set to a wavelength at which an optical glass material constituting the optical lens L1 significantly absorbs infrared rays. Using the infrared rays having a wavelength for providing high absorption by the optical lens L1 allows for heat application to only the target optical lens L1 without affecting other optical lenses L2 to L6. Instead of the infrared beam scanner, illumination means for irradiating the optical lens L1 with a beam of infrared rays having a desired intensity pattern (for example, a circular pattern having such an intensity that central part has a high intensity and peripheral part has a low intensity) may be arranged in an illumination optical system IU. In this case, the same advantages as those in the use of the infrared beam scanner can be obtained.

[0030]

In the use of the radiation thermometer IR, the temperature distribution of the entire optical lens L1 including the central part thereof, which cannot be measured by temperature sensors S1 to S8 arranged on the periphery of the optical lens L1, can be measured.

[0031]

The simulation device SM may have a function of simulating the imaging characteristics of the projection optical system PL using, for example, the finite element method on the basis of the temperature distribution of the optical lens L1. As for correction of distortion of the projection optical system PL, a known pattern is projected to measure distortion of the projection optical system PL and the temperature distribution of the optical lens L1 necessary for correction of the measured distortion is obtained by means of the



simulation device SM. While monitoring the temperature distribution of the optical lens L1 measured by the radiation thermometer IR in real time, a temperature controller TC controls the heat pumps HP1 to HP8 arranged on the periphery of the optical lens L1 and the infrared beam scanner SC so that the temperature distribution agrees with that obtained by the simulation device SM. Consequently, the temperature controller TC modifies the optical characteristics of the projection optical system PL to correct the distortion.

[0032]

The simulation device SM may have a function of simulating the imaging characteristics of the projection optical system PL using, for example, the finite element method on the basis of control parameters supplied from the temperature controller TC, the control parameters including the amounts of current supplied to the heat pumps HP1 to HP8 arranged on the optical lens L1 and an infrared irradiation pattern of the infrared beam scanner SC, the pattern being applied to the optical lens L1. In this case, various control parameters are input to the simulation device SM. The simulation device SM simulates a change in distortion of the projection optical system PL. Consequently, the optimum control parameters can be found. The temperature controller TC may control temperature changing means in accordance with the optimum parameters.

[0033]

Alternatively, the simulation device SM may be automatically driven so as to automatically output the optimum control parameters for correction of distortion on the basis of input data regarding measured distortion of the projection optical system PL.

[0034]

As described above, the simulation device SM is mounted on the projection aligner, so that a temperature distribution pattern can be changed in real time. In the use of simulation results previously calculated using, for example, the finite element method, thermal calculation can be approximated by linear operation because of a small difference in temperatures actually applied to an optical material, such as fluorite, having a relatively high coefficient of linear expansion. Thus, highly flexible setting can be performed. This arrangement is not limited to fluorite but can also be applied to any optical material as long as a variable is very small or an error is acceptable.

[0035]

In the above description, the temperature changing means, such as heat pumps and an infrared scanner, is arranged on only the uppermost optical lens L1 of the optical elements constituting the projection optical system. Generally, it is advantageous to arrange the temperature changing means to an optical element that is close to an object or an image. In a demagnification projection optical system, it is advantageous to arrange the temperature changing means to an optical element close to an object. The position of an optical element provided with the temperature changing means is not limited to the upper end or the lower end of the projection optical system. The temperature changing means may be arranged on an optical element inside the body tube. Furthermore, the temperature changing means can be arranged on a plurality of optical elements.

[0036]

In the above description, the temperature changing means includes a heater, a heat pump, such as a Peltier element, and an infrared beam scanner. Furthermore, application of a warm or hot current of air from the end of a nozzle or microwave irradiation may be performed to control the temperature distribution of an optical element.

[0037]

[Advantage of the Invention]

According to the present invention, various components of distortion of a projection optical system mounted on a projection aligner can be corrected with a relatively simple arrangement.

[Brief Description of the Drawings]

[Fig. 1] Fig. 1 is a diagram explaining the principle of correction of distortion of a projection optical system according to the present invention.

[Fig. 2] Fig. 2 includes diagrams showing a pattern on a reticle and its images.

[Fig. 3] Fig. 3 is a schematic diagram showing a projection aligner according to an embodiment of the present invention.

[Fig. 4] Fig. 4 is a schematic diagram of an optical lens to which heat pumps and temperature sensors are attached.

[Fig. 5] Fig. 5 is a schematic diagram illustrating a projection aligner according to another embodiment of the present invention.

[Description of the Reference Numerals and Signs]

EC... environmental control chamber

H1, H2... heater

HP1 to HP8... heat pumps  
I... image point  
IL... illumination light  
IR... radiation thermometer  
IU... illumination optical system  
L1 to L6... optical lenses  
M... memory device  
O... object point  
PL... projection optical system  
R... reticle  
RS... reticle stage  
S1 to S8... temperature sensors  
SM... simulation device  
ST... wafer stage  
T... body tube  
TC... temperature controller  
TJ... temperature control jacket  
W... wafer

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 9 - 2 3 2 2 1 3

(43) 公開日 平成 9 年 (1997) 9 月 5 日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H01L 21/027			H01L 21/30	516 E
G03F 7/20	521		G03F 7/20	521
			H01L 21/30	516 A

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平 8 - 3 8 0 1 7  
(22) 出願日 平成 8 年 (1996) 2 月 2 6 日

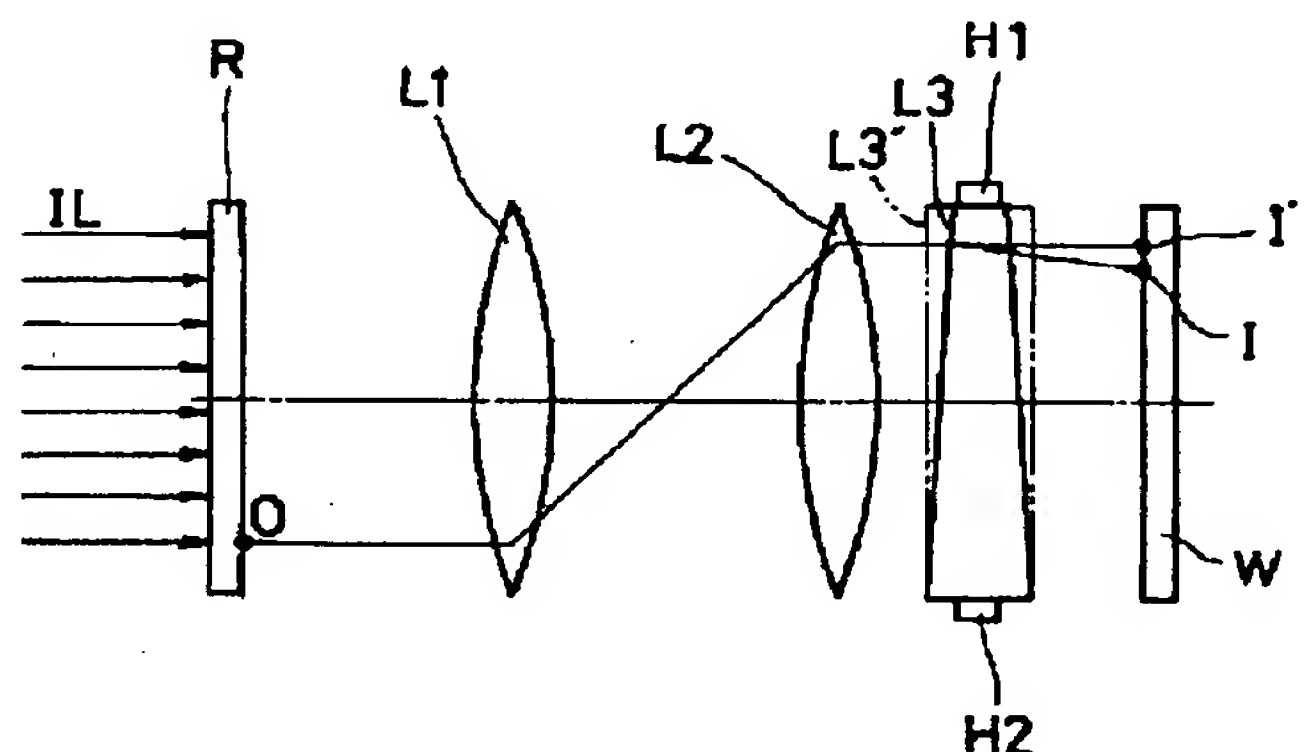
(71) 出願人 0 0 0 0 0 4 1 1 2  
株式会社ニコン  
東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号  
(72) 発明者 小林 直行  
東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株  
式会社ニコン内  
(74) 代理人 弁理士 平木 祐輔 (外 1 名)

(54) 【発明の名称】 投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】 比較的簡単な構成で投影光学系の歪曲収差を補正できるようにする。

【解決手段】 レチクル R に形成されたパターンをウエハ W 上に投影する投影光学系 P L を構成する光学素子 L 3 にヒーター H 1, H 2 等の温度可変手段を設け、光学素子 L 3 に所定の温度分布を与えて物理的に変形 (L 3') させることで投影光学系 P L の光学特性を修正し、歪曲収差を補正する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 レチクルを照明する照明系と、感光基板を保持する基板ステージと、前記レチクルのパターン像を前記感光基板上に形成する投影光学系とを含む投影露光装置において、

前記投影光学系を構成する光学素子の温度を変化させる温度可変手段と、前記光学素子の温度分布を計測する温度計測手段と、前記温度計測手段によって計測された温度分布に基づいて前記温度可変手段を制御して前記光学素子に所定の温度分布を与えることにより前記投影光学系の収差を補正する温度分布制御手段とを備えることを特徴とする投影露光装置。

【請求項 2】 前記温度可変手段として、前記投影光学系を構成する 1 つ又は複数の光学素子の外周に配設された複数のヒートポンプを備えることを特徴とする請求項 1 記載の投影露光装置。

【請求項 3】 前記温度可変手段として、前記光学素子に所望のパターンで赤外線を照射する赤外線照射手段を備え、前記温度計測手段として放射温度計を備えることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の投影露光装置。

【請求項 4】 前記光学素子の温度分布と前記投影光学系の光学特性とを対応させて記憶した記憶手段を備えることを特徴とする請求項 1 記載の投影露光装置。

【請求項 5】 前記温度分布制御手段による前記温度可変手段の制御結果としての前記投影光学系の結像特性をシミュレートするシミュレーション手段を備え、前記温度分布制御手段は前記シミュレーション手段によるシミュレーションの結果をもとに前記温度可変手段を制御することを特徴とする請求項 1 記載の投影露光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体デバイスや液晶ディスプレイ等の製造に用いられる投影露光装置に関するものである。

## 【 0 0 0 2 】

【従来の技術】半導体素子、液晶ディスプレイ、薄膜磁気ヘッド等を製造するフォトリソグラフ工程では、投影露光装置を用いてフォトマスク又はレチクル（以下、レチクルという）に形成されたパターンをフォトリソ等の感光剤が塗布されたウエハやガラスプレート等の感光基板上に投影露光することが行われる。このパターン露光は、感光基板上にすでに形成されているパターンの上に重ね合わせて露光することを複数回繰り返して行うのが通常である。感光基板上に形成されたパターンの精度は完成品であるデバイスの性能に直接影響を与えるため、投影露光装置の投影光学系は像の歪み（歪曲収差）を極めて小さいものとすることが要求されている。そのために、投影レンズの設計の際に原理的に生ずる歪曲収差を極めて小さくするのはむろんのこと、製造の際に生ずる光学素子の製造誤差や組立公差を小さくすることが

必要とされている。また、気圧や温度などの環境パラメータの変化や、露光時に露光光を吸収することによる光学素子の温度変化などによっても投影光学系の収差が変動するために、これらの変動に対する補正も必要である。

【 0 0 0 3 】従来、投影露光装置の製造時に生ずる誤差を抑えるためには次のようなことが行われてきた。一つは、使用する光学素子自体の誤差の低減である。例えば、屈折型の光学素子（いわゆる光学レンズ）を製作する際には、屈折率均一性の高い光学材料を使用し、かつ極めて高い精度で加工を行うことにより光学設計上の理想値に近いものを作り上げようという努力がなされてきた。また、完成された光学部品が変形を生じさせることなく正確な位置関係に保持されるようにマウントに工夫を加えることにより、設計された性能の達成が図られてきた。

【 0 0 0 4 】しかしながら、投影露光装置の投影光学系の製造においては、非常に高度の性能が要求されるため、個々の部品に対して要求される製造精度が現在の技術で得られる加工精度の限界を越えてしまうことが起こる。そのため、上述のような方法だけでは必要な性能を得ることができず、最終的に組上がった光学系の各部に対して調整を繰り返すことで、試行錯誤的に投影光学系全体として必要な性能を達成させるという手法を採っているのが実状である。

【 0 0 0 5 】また、使用環境などの変化によって生じる収差の変動に対しては、投影光学系全体を環境制御システム内に入れたり、投影光学系を温度制御ジャケットで覆うことにより外部環境の変化から隔離して保護する方法、もしくは投影光学系の一部分を密閉構造にしてその部分の気圧を制御したり、一部の光学素子を動かす方法によって環境変化による収差の変動を補償する構成を採っていた。

## 【 0 0 0 6 】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来の投影露光装置には、次のような問題がある。即ち、従来は製造時に生じる誤差に対して最終的に組み立てられた投影光学系について調整を行うことで補償を行っていたが、その調整にも高い精度が必要とされ、また全ての性能について組み上げられた製品上で調整できるわけではない。

【 0 0 0 7 】投影光学系の歪曲収差（ディストーション）の補正の場合、回転対称成分の補正には投影光学系を構成する光学素子間の距離を数カ所で調整することにより大部分を修正できるし、いくつかの非回転対称な成分についても光学素子を 3 次元的に動かすことにより修正が可能である。しかしながら、製品の完成後に全ての成分について修正することは精度やアクセス性などの面から極めて困難であった。

【 0 0 0 8 】また、光学素子を形成する光学ガラス材が屈折率分布を持っていた場合や保持部品が変形してしま



った場合など、光学系を構成する部品のレベルまで分解して交換しないと修正が不可能なものもあり、これまで投入部品量の予測や製造工期のスケジューリングを難しくすると共に装置価格の増大をもたらしていた。温度など装置が使用されている環境が変化した場合の調整や、装置の経時変化などに対する調整においても同様の問題があった。本発明はこれらの点に鑑みてなされたもので、投影露光装置に搭載する投影光学系に対し、柔軟性を持ち比較的簡単な構成で歪曲収差の多様な成分を補正し得る機構を提供することを目的とする。

【 0 0 0 9 】

【課題を解決するための手段】本発明においては、投影光学系を構成する光学素子自体に意図的に温度分布を与え、その光学素子を物理的に変形させることで歪曲収差を補正することによって前記目的を達成する。

【 0 0 1 0 】すなわち、本発明は、レチクルを照明する照明系（IU）と、感光基板（W）を保持する基板ステージ（ST）と、レチクル（R）のパターン像を感光基板上に形成する投影光学系（PL）とを含む投影露光装置において、投影光学系（PL）を構成する光学素子（L1～L6）の温度を変化させる温度可変手段（H1, H2, HP1～HP8, SC）と、光学素子の温度分布を計測する温度計測手段（S1～S8, IR）と、温度計測手段によって計測された温度分布に基づいて温度可変手段を制御して光学素子に所定の温度分布を与えることにより投影光学系の収差を補正する温度分布制御手段（TC）とを備えることを特徴とする。

【 0 0 1 1 】温度可変手段は、光学素子に接触して熱伝導により光学素子に温度分布を与えるタイプのもの、又は光学素子に非接触で熱を与えるタイプのもののいずれも採用することができ、両タイプのものを組み合わせて用いることもできる。接触型の温度可変手段としては、投影光学系を構成する1つ又は複数の光学素子の外周に複数配設したヒーター（H1, H2）等の加熱手段又はヒートポンプ（HP1～HP8）等の加熱冷却手段を用いることができる。また、非接触型の温度可変手段としては、光学素子に所望のパターンで赤外線照射する赤外線照射手段（SC）を用いることができる。

【 0 0 1 2 】温度計測手段としては、光学素子の周辺に配置された複数の熱電対等の温度センサ（S1～S8）を用いることができる。また、温度計測手段として赤外線撮像装置等からなる放射温度計（IR）を用いると、光学素子の中央部分の温度分布を非接触で計測することができる。もちろん、温度計測手段として、光学素子の周辺部の温度分布を計測する複数の熱電対と光学素子の中央部分の温度分布を計測する放射温度計とを組み合わせ用いてもよい。温度分布制御手段（TC）は、温度計測手段によって計測された光学素子の温度分布が所望の温度分布となるように温度可変手段を制御することで、高精度な制御を行うことができる。

【 0 0 1 3 】ヒーターやヒートポンプ等の接触型の温度可変手段は、光学素子の外周部に配設するため、レンズ鏡筒（T）の中央部分に配置された光学レンズ等どの位置の光学素子に対しても設置可能である。また、加熱能力を有するヒーター等に加えて冷却能力を有するヒートポンプ等を組み合わせて用いることにより、光学素子に大きな温度勾配を与えることが可能である。反面、光学素子の有効面積を広くとるためには取り付け位置が光学素子の外周部に限られ、光学素子の光軸に近い中央領域に直接熱伝達を行うことができないため、光学素子に付与することのできる温度分布パターンが制限されてしまう。

【 0 0 1 4 】これに対して、赤外線ビームスキャナ等の非接触型の温度可変手段は、光学素子の有効面積を狭めることなく光軸近くの領域に対しても直接熱を与えることができるため、光学素子に付与することのできる温度分布パターンの自由度が比較的大きい。しかしながら、赤外線ビームを照射することのできる光学素子は通常は投影光学系の上下両端部の光学素子に限られ、また光学素子を加熱することはできるが冷却することはできない。このように、接触型の温度可変手段と非接触型の温度可変手段とは相互に補完しあう機能を有し、両者を組み合わせて用いることで、それぞれを単独で用いる場合に比較してより高精度な投影光学系の収差補正が可能となる。

【 0 0 1 5 】投影光学系の歪曲収差（ディストーション）を補正するに当たっては、まず格子パターンなど既知のパターンを投影光学系によって結像面に投影し、結像されたパターンの歪みを計測することで投影光学系の収差を求める。次に、計測された収差を補正するためには投影光学系中のどの光学素子にどのような温度分布を与えるべきであるかを決定する。続いて、その温度分布を実現するために個々のヒーターに流すべき電流値等、温度分布制御手段による制御量を求めて制御を行うことになる。制御量は、解析的に求めることは困難であるため、実測データをもとにした線形演算によって、もしくはシミュレーションによって求める。

【 0 0 1 6 】図1及び図2を用いて、本発明による投影光学系の歪曲収差補正の原理について説明する。図1は、光学レンズL1, L2, L3からなる屈折型の投影光学系を模式的に示すものである。照明光ILで一様に照明されたレチクルR上のパターンは、光学レンズ群L1～L3によりフォトリソ等感光剤を塗布されたウェハW上に結像される。光学レンズL3の外周には、ヒーターH1とH2が図示するように取り付けられている。

【 0 0 1 7 】ヒーターH1, H2に通電していない場合、光学レンズL3の温度は均一であり、その時のレチクルR上のパターンの物点Oに対するウェハW上の像点はIである。いま、レチクルRに図2（a）に示すよう

な格子状パターンPが形成されているとして、このパターンPを光学レンズ群L1～L3からなる投影光学系によってウエハW上に投影したとき、図2(b)に示すように歪曲されて結像したとする。このとき光学レンズL3の上方に取り付けられたヒーターH1に通電して発熱させると、光学レンズL3には温度分布が生じ加熱された部分が膨張して破線で示すL3'の様な形状になる。そのためにウエハW上の像の位置がずれ、物点Oに対する像点はI'になり、ウエハW上に図2(c)に示すように歪みのないパターン像が形成される。

【0018】ヒーターH1とH2を同時に通電加熱することにより、光学レンズL3の周辺部分を中央部に比べて厚くすることもできる。この場合、光学レンズL3は凹レンズとして働き、像を拡大することが可能になる。また、ヒーターの代わりにペルチェ素子などのヒートポンプを使用し、光学レンズ周辺部を中央部に対して冷却することで、逆に光学レンズの周辺部分をを中心部に比べて薄くすることもできる。その場合には光学レンズL3は凸レンズとして働く。

【0019】ここでは非常に単純化した例によって説明したが、実際にはヒーターH1への通電による光学レンズL3の温度分布、したがって対応する部分の像の位置ずれ量も複雑なものになる。そのため、光学レンズL3のそれぞれの部分の温度の差による歪曲収差の変動量を有限要素法による熱解析や光学シミュレーションなどで解析すると共に、温度を測定するためのセンサや温度分布を与えるための加熱手段や冷却手段の配置を十分検討することが必要である。また、光学レンズに対する熱的な外乱を防ぐことも重要である。

【0020】本発明を屈折光学素子に適用する場合、光学素子の材料は歪曲収差の補正量に応じて物性を選び選択する必要がある。投影露光装置では近年の露光光の短波長化により光学素子として使用できる光学材料が限られているが、蛍石(CaF<sub>2</sub>)は温度による線膨張率が比較的大きく、KrFやArFエキシマレーザなどから発生される紫外線に対する透過率も大きいため、本発明による投影光学系の光学材料として好適である。

【0021】本発明は、従来、光学素子の相対位置を変えることで調整していた投影光学系の歪曲収差を、光学素子自体を動かすことなく光学素子の温度を変化させて物理的に変形させることで補正するものであるため、従来必要であった調整用の機械部品を省くことができ、構造の簡素化やコスト低減に効果的である。また、単に温度を変えるだけでなく温度分布を与えることで光学素子を局所的に変形させることが可能であるため、従来の方法では修正できなかった歪曲収差、例えば歪曲収差のうちの回転対称でない成分や比較的ランダムな成分をも修正することが可能となる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実

施の形態を説明する。図3は、本発明による投影露光装置の第1の実施の形態を示す概略図である。投影露光装置は照明光学系IU、レチクルRを保持するレチクルステージRS、投影光学系PL、ウエハWを保持して2次元方向に移動可能なウエハステージSTを備え、装置全体は環境制御チャンバEC内に納められて一定温度になるよう空調制御されている。投影光学系PLは、この例では6枚の光学レンズL1～L6からなる屈折光学系で構成され、光学レンズL1～L6を保持するレンズ鏡筒Tは、より高精度な温度制御を行うために温度制御ジャケットTJで覆われている。

【0023】照明光学系IUから射出された照明光ILは、投影されるパターンが描画されたレチクルRを均一に照明する。そしてレチクルRに描かれたパターンにより強度変調と回折を受けることで、パターンの情報を持って投影光学系PLに入射する。投影光学系PLは、レチクルRに描かれたパターンの像をウエハW上に形成する。

【0024】投影光学系PLを構成する光学レンズのうち上端部の光学レンズL1の外周部分には、図4に示すように、ペルチェ素子などのヒートポンプHP1～HP8と温度センサS1～S8とが対になって空間的に対称に取り付けられている。それぞれのヒートポンプHP1～HP8は、温度センサS1～S8からの温度測定結果をもとに温度コントローラTCによって温度制御される。各ヒートポンプHP1～HP8を個別に加熱駆動もしくは冷却駆動して光学レンズ外周各部の温度を互いに变化させることにより、あるいは環境制御チャンバECや温度制御ジャケットTJの設定温度に対して変化させることにより、光学レンズL1に温度分布を発生させることができる。

【0025】ヒートポンプHP1～HP8により光学レンズ外周部各点での温度を変えることにより、光学レンズL1に単に凹レンズや凸レンズとしての機能を付加するだけではなく、より複雑な非球面レンズとしての機能を持たせることも可能である。例えば、光軸を挟んで対向配置されたヒートポンプHP1とHP5の位置で光学レンズL1の温度を上げ、それと直交するように対向配置されたヒートポンプHP3とHP7の位置の温度を逆に下げることにより、非回転対称な歪曲収差の補正も可能である。このほかにも発生させる温度の組み合わせを変えることにより、さらに複雑な形状の歪曲収差にも対応することが可能である。

【0026】温度コントローラTCに付随してROMや磁気ディスク等の記憶装置Mが設けられ、記憶装置Mには光学レンズL1の温度分布と投影光学系PLの歪曲収差の変動量の関係を示すデータが記憶されている。このデータは、実測又はシミュレーションによって求めることができる。実測によるデータの収集は、投影光学系PLを構成する光学レンズL1にある温度分布を与え、そ

10

20

30

40

50



の温度分布を与えた状態で図 2 ( a ) に示すような格子状パターンを有するレチクル R の像を像面に投影し、投影されたパターンの設計位置からのずれ量を計測することを温度分布を変えながら反復することで行うことができる。また、シミュレーションによるデータ収集は、各光学素子に種々の温度分布を与えたときの歪曲収差の変動量を有限要素法による熱解析や光学シミュレーションなどで解析することにより行うことができる。

【 0 0 2 7 】 温度コントローラ T C による各ヒートポンプ H P 1 ~ H P 8 の制御量は、図 2 ( a ) に示すような格子状パターンを投影して投影光学系 P L の歪曲収差を計測し、その収差を補正するのに必要な温度分布を記憶装置 M に記憶されているデータから線形演算によって求めることで決定される。温度コントローラ T C は、こうして決定された制御量を用い、温度センサ S 1 ~ S 8 の出力をモニターしながら各ヒートポンプ H P 1 ~ H P 8 を制御することにより投影光学系 P L の歪曲収差を補正する。

【 0 0 2 8 】 図 5 は、本発明による投影露光装置の第 2 の実施の形態を示す概略図である。図 5 に示す第 2 の実施の形態の装置は、図 3 に示した第 1 の実施の形態の装置に加えて赤外線ビームスキャナ S C 及び 2 次元 C C D 赤外線撮像装置などの放射温度計 I R を備え、また記憶装置に代えてシミュレーション装置 S M を備えたものである。図 5 において、図 3 に示したのと同様の機能を果たす部分には図 3 と同一の番号を付して詳細な説明を省略する。

【 0 0 2 9 】 赤外線ビームスキャナ S C は、投影光学系 P L の上端部に露出する光学レンズ L 1 の表面を赤外線ビームの強度を変化させながら高速に走査することで、光学レンズ L 1 に対して所望のパターンで熱を与えることができるものである。つまり、光学レンズ L 1 は、図 4 に示すように光学レンズ外周部に配置されたヒートポンプ H P 1 ~ H P 8 による温度制御と同時に赤外線ビームの照射による温度制御を受ける。赤外線ビームスキャナ S C は、ヒートポンプによっては不可能であった光学レンズ L 1 の光軸近くの領域にも熱を与えることができるため、ヒートポンプ H P 1 ~ H P 8 のみによる温度制御に比べてより精度の高い温度制御が可能となる。赤外線ビームスキャナ S C によって走査される赤外線の波長は光学レンズ L 1 を形成している光学ガラス材料が強い吸収を示す波長に設定するのが好ましい。光学レンズ L 1 が強い吸収を示す波長の赤外線を使用することにより、他の光学レンズ L 2 ~ L 6 に影響を与えることなく必要な光学レンズ L 1 のみに熱を与えることができる。なお、赤外線ビームスキャナに代えて、所望の強度パターン（例えば、中央部が強く、周辺部が弱い強度の円形パターン）を有する赤外線光束を光学レンズ L 1 に照射する照明手段を照明光学系 I U 中に設けても同様の効果を上げることができる。

【 0 0 3 0 】 また、放射温度計 I R を用いることにより、光学レンズ L 1 の外周部に配置した温度センサ S 1 ~ S 8 では測定することができなかった光学レンズ中心部も含めた光学レンズ L 1 全体の温度分布を測定することができる。

【 0 0 3 1 】 シミュレーション装置 S M は、有限要素法などの手法により、光学レンズ L 1 の温度分布を与えることで投影光学系 P L の結像特性をシミュレートする機能を有するものとすることができる。投影光学系 P L の歪曲収差補正に当たっては、まず既知のパターンを投影することによって投影光学系 P L の歪曲収差を計測し、計測された歪曲収差の補正に必要な光学レンズ L 1 の温度分布をシミュレーション装置 S M を用いて求める。温度コントローラ T C は、放射温度計 I R による光学レンズ L 1 の温度分布を実時間で監視しながら、その温度分布がシミュレーション装置 S M で求められた温度分布に一致するように光学レンズ L 1 の外周部に付設されたヒートポンプ H P 1 ~ H P 8 及び赤外線ビームスキャナ S C を制御することによって、投影光学系 P L の光学特性を修正し歪曲収差を補正する。

【 0 0 3 2 】 また、シミュレーション装置 S M は、光学レンズ L 1 に配設されたヒートポンプ H P 1 ~ H P 8 への通電量や赤外線ビームスキャナ S C による光学レンズ L 1 への赤外線照射パターンなど、温度コントローラ T C による制御パラメータを入力することで、有限要素法などの方法によって投影光学系 P L の結像特性をシミュレートする機能を有するものとすることもできる。この場合には、シミュレーション装置 S M に種々の制御パラメータを入力し、投影光学系 P L の歪曲収差がどのように変化するかをシミュレーションすることで最適な制御パラメータを見出すことができる。温度コントローラ T C は、その最適パラメータに従って温度可変手段を制御すればよい。

【 0 0 3 3 】 あるいは、シミュレーション装置 S M 置に実測された投影光学系 P L の歪曲収差データを入力し、その歪曲収差を補正するのに最適な制御パラメータが自動的に出力されるようにシミュレーション装置 S M を自動運転することもできる。

【 0 0 3 4 】 このように投影露光装置自体にシミュレーション装置 S M を搭載することで、リアルタイムで温度分布パターンを変化させることが可能である。事前に計算しておいた有限要素法などによるシミュレーション結果を使用する場合でも、蛍石などの比較的線膨張率の大きい光学材料では実際に与える温度差が少ないことから熱的な計算部分を線形演算で近似することが可能になり柔軟性の高い設定が可能になる。また変形量が微小であるか、誤差を許容できるならば、蛍石に関わらずあらゆる光学材料についても適用できる。

【 0 0 3 5 】 ここでは、投影光学系を構成する光学素子のうち上端部の光学レンズ L 1 にのみヒートポンプや赤

外線スキャナ等の温度可変手段を付与する例を説明した。温度可変手段を設ける光学素子は、一般には物体もしくは像に近い光学素子とするのが有利であり、縮小投影型の投影光学系においては物体側の光学素子とするのが有利である。しかし、温度可変手段を付設する光学素子は投影光学系の上端や下端の光学素子に限られるものではなく、鏡筒内部の光学素子に設けることもできるし、同時に複数の光学素子に付設することもできる。

【0036】また、温度可変手段の例として、ヒータ、ペルチェ素子等のヒートポンプ、赤外線ビームスキャナをあげたが、その他にノズル先端から温風又は熱風を吹き付けたり、マイクロ波照射によって光学素子の温度分布を制御することもできる。

【0037】

【発明の効果】本発明によれば、投影露光装置に搭載する投影光学系に対し、比較的簡単な構成で歪曲収差の多様な成分を補正することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による投影光学系の歪曲収差補正の原理を説明する図。

【図2】レチクルのパターンとその像を示す図。

【図3】本発明による投影露光装置の一例を示す概略図。

【図4】ヒートポンプと温度センサが取り付けられた光

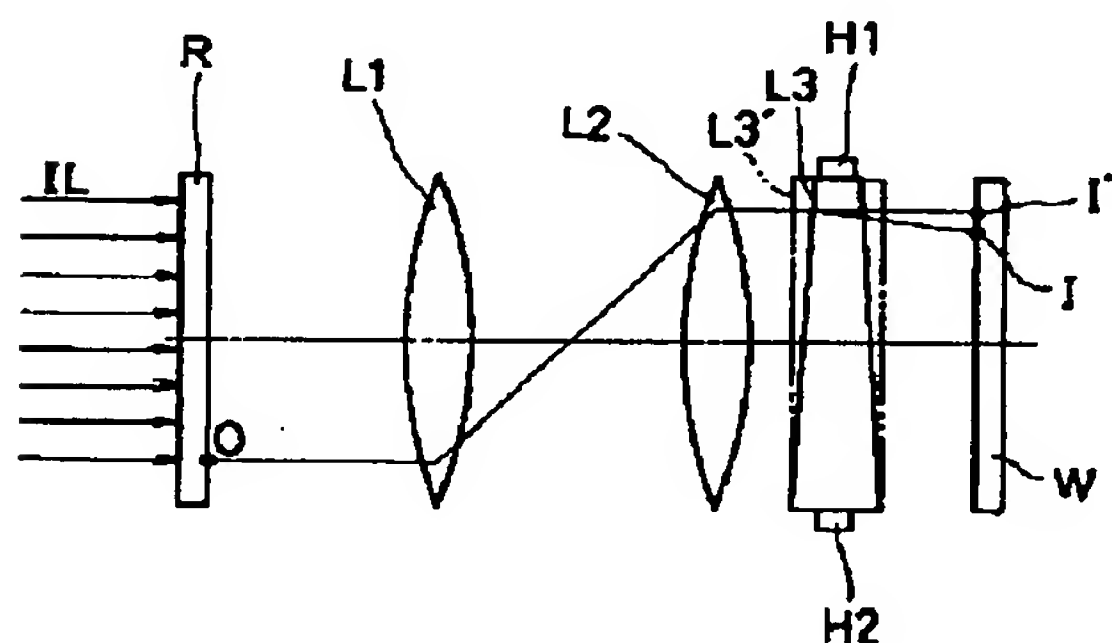
学レンズの模式図。

【図5】本発明による投影露光装置の他の例を示す概略図。

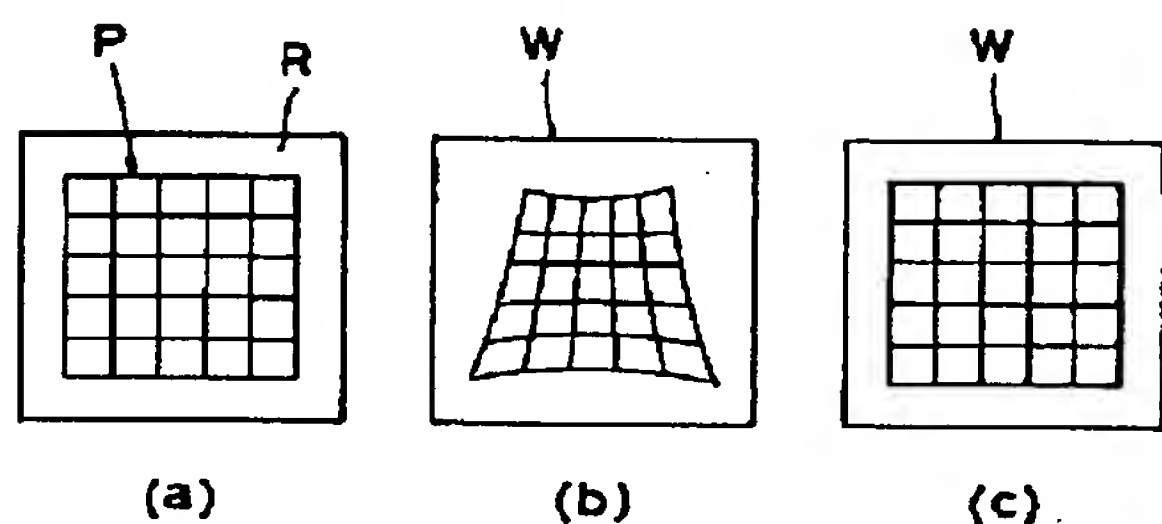
【符号の説明】

EC…環境制御チャンバ  
H1, H2…ヒーター  
HP1~HP8…ヒートポンプ  
I…像点  
IL…照明光  
IR…放射温度計  
IU 照明光学系  
L1~L6…光学レンズ  
M…記憶装置  
O…物点  
PL…投影光学系  
R…レチクル  
RS…レチクルステージ  
S1~S8…温度センサ  
SM…シミュレーション装置  
ST…ウエハステージ  
T…レンズ鏡筒  
TC…温度コントローラ  
TJ…温度制御ジャケット  
W…ウエハ

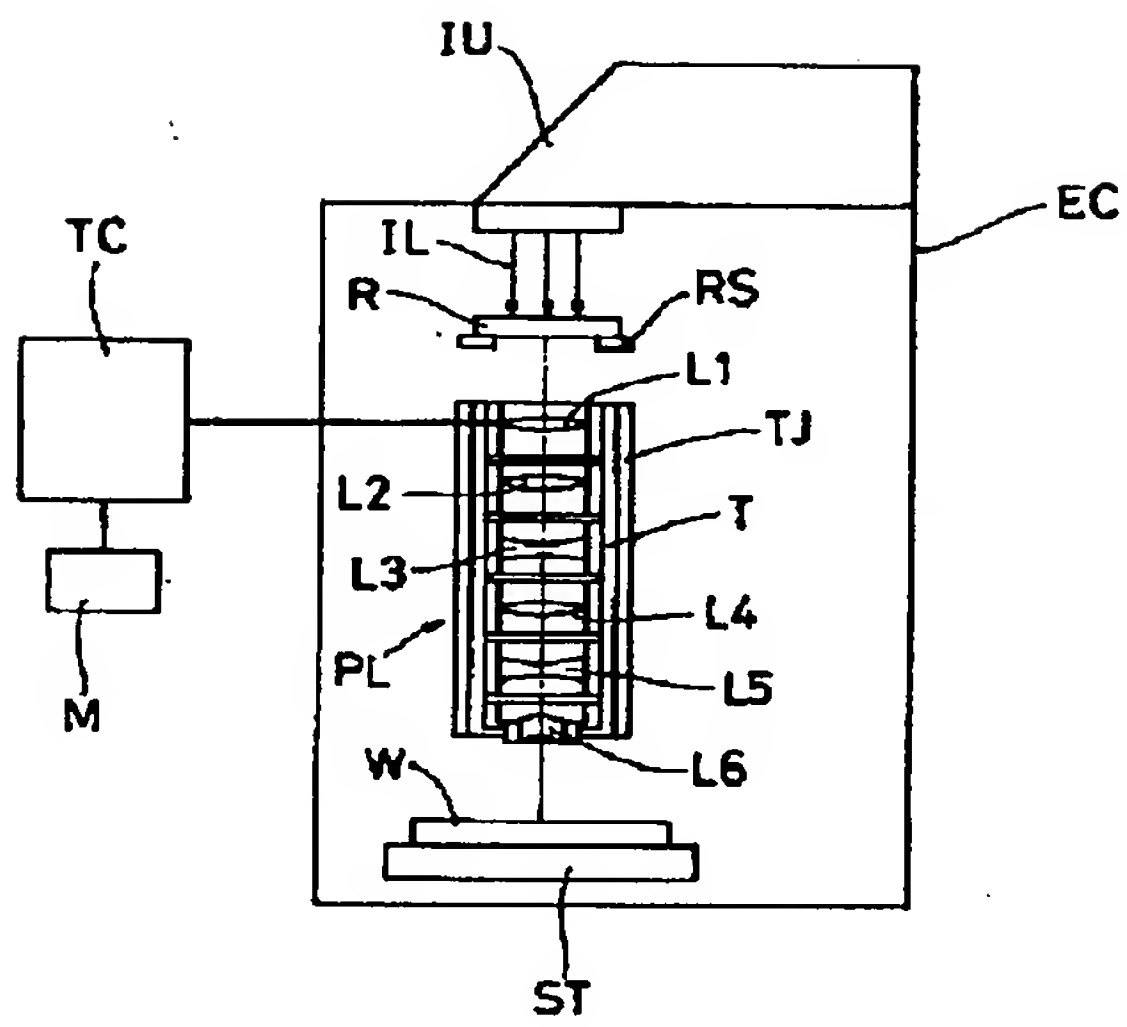
【図1】



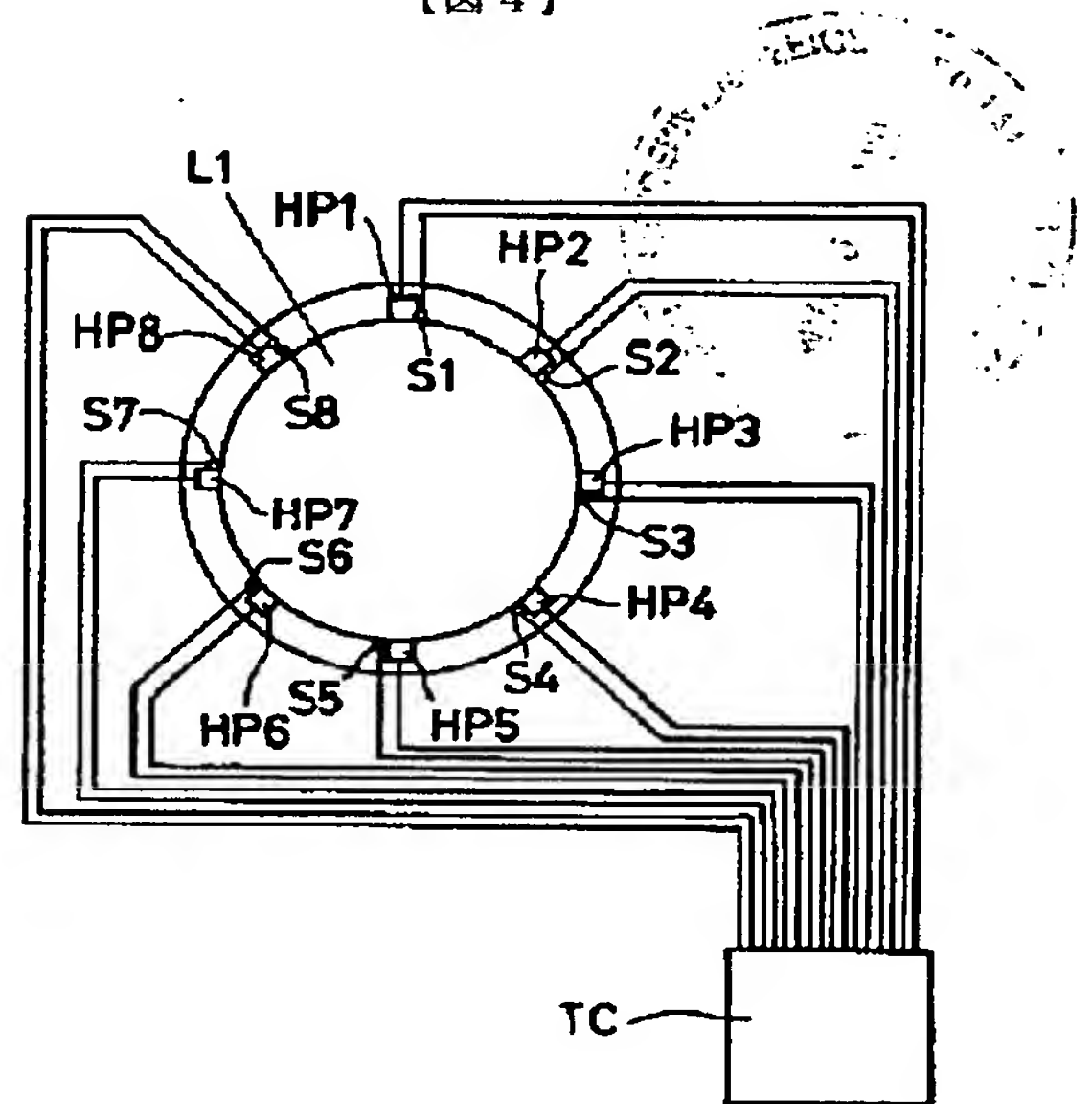
【図2】



【図 3】



【図 4】



【図 5】

